



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001269779 A**(43) Date of publication of application: **02.10.01**

(51) Int Cl

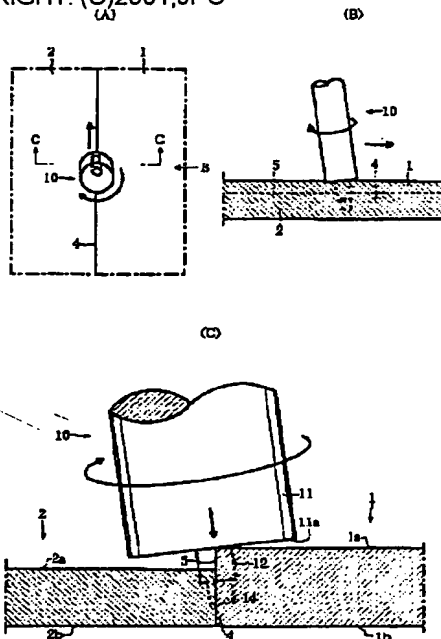
**B23K 20/12**  
**// B23K103:10**(21) Application number: **2000085022**(22) Date of filing: **24.03.00**(71) Applicant: **NIPPON LIGHT METAL CO LTD**(72) Inventor:  
**HORI HISASHI**  
**MAKITA SHINYA**  
**HINO HARUMICHI****(54) WELDING METHOD, TAILORED BLANK METAL PLATE AND WELDING TOOL****(57) Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a welding method by which a defect, etc., never occur in a weld zone when butting a pair of metallic plates with different plate thicknesses and performing friction-stir welding along the boundary line of both plates, a tailored blank metal plate obtained by the method and a welding tool to be used for the above welding method.

**SOLUTION:** This is the welding method to be performed as follows, that is, when subjecting a thick plate 1 and a thin plate 2 made of an aluminum alloy to the friction-stir welding by butting the thick plate 1 and the thin plate 2, which position on the same plane and by moving a welding tool 10 along the boundary surface 4 of both plates 1, 2 while rotating the welding tool 10, an about columnar main body 11 and stirring pins 12, 14 with a thick diameter and a thin diameter, which droop concentrically from the base 11a of the main body 11 and are pushed into the vicinity of the boundary surface 4 of both plates 1, 2, are included in the above welding tool 10. When viewing from a plane, the above welding tool 10 is moved along the boundary surface 4 of both plates 1, 2 while rotating in the clockwise direction,

and in plane view, the above thick plate 1 is arranged on the right side in the moving direction of the above welding tool 10.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-269779  
(P2001-269779A)

(43) 公開日 平成13年10月2日 (2001.10.2)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テラード* (参考)
B 2 3 K 20/12	3 1 0	B 2 3 K 20/12	3 1 0 4 E 0 6 7
// B 2 3 K 103:10		103:10	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-85022(P2000-85022)

(22) 出願日 平成12年3月24日 (2000.3.24)

(71) 出願人 000004743

日本軽金属株式会社  
東京都品川区東品川二丁目2番20号

(72) 発明者 堀 久司

静岡県庵原郡蒲原町蒲原一丁目34番1号  
日本軽金属株式会社グループ技術センター  
内

(72) 発明者 牧田 慎也

静岡県庵原郡蒲原町蒲原一丁目34番1号  
日本軽金属株式会社グループ技術センター  
内

(74) 代理人 100098615

弁理士 鈴木 孝

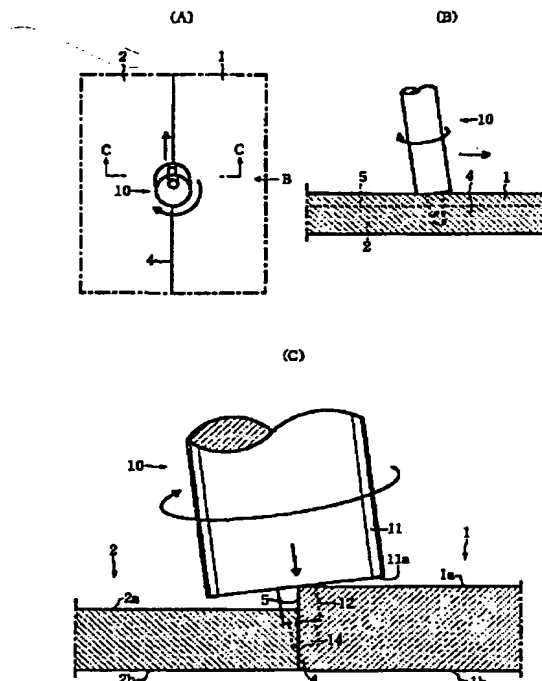
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接合方法及びテラードブランク板材並びに接合ツール

(57) 【要約】

【課題】板厚が異なる一对の金属板を突き合わせ、両板の境界線に沿って摩擦攪拌接合する際に、接合部に欠陥等が確実に生じない接合方法、及びこれにより得られたテラードブランク板材、並びに上記接合方法に用いる接合ツールを提案する。

【解決手段】同一平面上に位置するアルミニウム合金製の厚板1と薄板2とを突き合わせ、両板1, 2の境界面4に沿って接合ツール10を回転させつつ移動して両板1, 2を摩擦攪拌接合するに際し、上記接合ツール10は、略円柱形の本体11と、その底面11aから同心に垂下し且つ両板1, 2の境界面4付近に押し込まれる太径及び細径の攪拌ピン12, 14と、を含み、平面視において上記接合ツール10が時計回り方向に回転しつつ両板1, 2の境界面4に沿って移動すると共に、上記厚板1を平面視において上記接合ツール10の移動方向における右側に配置する、接合方法。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】同一平面上に位置する金属製の厚板と薄板とを突き合わせ、両板の境界面に沿って接合ツールを回転させつつ移動して両板を摩擦攪拌接合するに際し、上記接合ツールは、略円柱形の本体と、該本体の底面から同心に垂下し且つ両板の境界面付近に押し込まれる攪拌ピンと、を含み、

平面視において上記接合ツールが時計回り方向に回転しつつ両板の境界面に沿って移動すると共に、上記厚板を平面視において上記接合ツールの移動方向における右側に配置する、ことを特徴とする接合方法。

【請求項 2】同一平面上に位置する金属製の厚板と薄板とを突き合わせ、両板の境界面に沿って接合ツールを回転させつつ移動して両板を摩擦攪拌接合するに際し、上記接合ツールは、略円柱形の本体と、該本体の底面から同心にして垂下する攪拌ピンと、を含み、

上記接合ツールを薄板側に傾斜した姿勢とすると共に、当該ツールの移動方向における側面視において、接合ツールの上記本体における底面の両端部が上記厚板と薄板の表面にそれぞれ略接触するように、上記攪拌ピンを両板の境界面付近に押し込む、ことを特徴とする接合方法。

【請求項 3】前記接合ツールが薄板側に傾斜した状態において、前記境界面における上記ツールの攪拌ピンの先端と両板の裏面との間に隙間が位置するように、前記攪拌ピンを両板の境界面付近に押し込む、ことを特徴とする請求項 2 に記載の接合方法。

【請求項 4】前記接合ツールが薄板側に傾斜した状態で、その攪拌ピンを厚板と薄板との境界面付近に押し込むに際して、上記ツールの本体の底面が薄板の内部に食い込まないようにする、ことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の接合方法。

【請求項 5】請求項 1 乃至 4 の何れかの接合方法により得られ且つ前記境界面付近において未接合部がない、ことを特徴とするテーラードブランク板材。

【請求項 6】同一平面上に位置する金属製の厚板と薄板とを突き合わせ、両板の境界面に沿って摩擦攪拌接合する接合ツールであって、

上記薄板側に傾斜した姿勢で回転しつつ移動する略円柱形の本体と、

上記本体の底面から同心にして垂下し且つ先端側に行くほど細径になる 2 段以上の攪拌ピンと、を含む、ことを特徴とする接合ツール。

【請求項 7】前記攪拌ピンのうち 2 段目以降のピンの断面形状が四角形以上の正多角形又は変形多角形、或いは異形状である、ことを特徴とする請求項 6 に記載の接合ツール。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、金属製の厚板と薄

板とを突き合わせ、両板の境界線に沿って摩擦攪拌接合する接合方法、及びこれにより得られるテーラードブランク板材、並びに上記接合方法に用いる接合ツールに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、同種又は異種金属板間の接合に、固相接合方法の一つである摩擦攪拌接合法が用いられている。また、板厚が異なる一対の金属板間に接合に際して、特に好適な摩擦攪拌接合法も提案されている。この接合法は、図 6 (A) 及び (B) に示すように、例えばアルミニウム合金からなる厚板 50 と薄板 52 とを突き合わせ、両板 50、52 間の段差 55 を有する突き合わせ面 54 に沿って、大径で円柱状の回転子 56 とその底面から同心に垂下する小径でピン状のプロープ 58 とからなる接合装置 60 を回転しつつ移動することにより行われる。

【0003】上記接合法にて接合する際、接合装置 60 の上記回転子 56 及びプロープ 58 は、図 6 (A) 乃至 (C) に示すように、移動方向と反対側に傾斜角  $\theta 1$  で傾け、且つ移動方向と直交して薄板 52 側に  $10^\circ$  以下の傾斜角  $\theta 2$  で傾けた姿勢に保たれる。この状態で、上記プロープ 58 を突き合わせ面 54 付近に所要の圧力で回転させつつ押し込む。これにより、厚板 50 と薄板 52 との摩擦攪拌接合が成され、突き合わせ面 54 付近に欠陥や熱的悪影響を生じず且つ接合される板の表面を汚さない、という利点が得られる (特開平 10-249553 号公報参照)。

【0004】しかしながら、上記の接合法では、接合装置 60 の回転子 56 とプロープ 58 を、移動方向と直交する方向で  $10^\circ$  以下とする傾斜角  $\theta 2$  を、その実施例で傾斜角  $\theta 2$  を  $1.5^\circ \sim 10.0^\circ$  の 6 つの例を挙げているが、 $10^\circ$  以下の範囲でどの傾斜角  $\theta 2$  が上述した利点を得るのに最適であるか、全く不明である。因みに、発明者らの実験によれば、板厚が異なる一対の金属板間で摩擦攪拌接合した際に、上記傾斜角  $\theta 2$  の  $10^\circ$  以下とする範囲内でも、得られた接合部にトンネル欠陥等を生じるため、所要の接合強度が得られなくなる場合があることを知見した。換言すれば、上記傾斜角  $\theta 2$  が  $10^\circ$  以下であっても、厚板と薄板とを摩擦攪拌接合する際、得られる接合部の特性にバラツキがあった。

## 【0005】

【発明が解決すべき課題】本発明は、以上に説明した従来の技術における問題点を解決し、板厚が異なる一対の金属板を突き合わせ、両板の境界線に沿って摩擦攪拌接合する際に、接合部に欠陥等が生じにくい接合方法、及びこれにより得られるテーラードブランク板材、並びに上記接合方法に用いる接合ツールを提案することを課題とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、発明者らの鋭

意研究及び実験に基づき、接合方法に用いる接合ツールの取り扱い方法及び構造を工夫することにより、得られたものである。即ち、本発明の第一の接合方法は、同一平面上に位置する金属製の厚板と薄板とを突き合わせ、両板の境界面に沿って接合ツールを回転させつつ移動して両板を摩擦攪拌接合するに際し、上記接合ツールは、略円柱形の本体と、該本体の底面から同心に垂下し且つ両板の境界面付近に押し込まれる攪拌ピンと、を含み、平面視において上記接合ツールが時計回り方向に回転しつつ両板の境界面に沿って移動すると共に、上記厚板を平面視において上記接合ツールの移動方向における右側に配置する、ことを特徴とする。

【0007】これによれば、厚板及び薄板の境界面付近において、上記攪拌ピンにより塑性流動化された金属が厚板側から薄板側に移行しつつ攪拌され、上記ピンが通過した跡には攪拌された金属が境界面付近で緻密に固まった高強度の接合部が形成される。従って、エア等の巻き込みやボイドのトンネル欠陥等のない緻密な接合部を厚板部と薄板部との間に有し、且つ所要の接合強度を有するテーラードブランク板材を、確實且つ容易に製造することが可能となる。

【0008】また、本発明の第二の接合方法は、同一平面上に位置する金属製の厚板と薄板とを突き合わせ、両板の境界面に沿って接合ツールを回転させつつ移動して両板を摩擦攪拌接合するに際し、上記接合ツールは、略円柱形の本体と、該本体の底面から同心にして垂下する攪拌ピンと、を含み、上記接合ツールを薄板側に傾斜した姿勢とすると共に、当該ツールの移動方向における側面視において、接合ツールの上記本体における底面の両端部が上記厚板と薄板の表面にそれぞれ略接触するように、上記攪拌ピンを両板の境界面付近に押し込む、ことを特徴とする。

【0009】これによれば、厚板及び薄板の境界面付近において、攪拌ピンにより塑性流動化された金属が厚板側から薄板側にスムーズに移行しつつ攪拌され、上記ピンが通過した跡には攪拌された金属が緻密に固まった高強度の接合部が形成される。しかも、前記従来の接合方法のような傾斜角 $10^\circ$ 以下の範囲とする曖昧な基準ではなく、例えば作業者が目視やカメラで容易に設定でき且つ監視できるため、均一で安定した接合作業を行うこともできる。従って、エア等の巻き込み欠陥等のない緻密な接合部を厚板部と薄板部との間に有し、且つ所要の接合強度を有するテーラードブランク板材を、確實且つ一層容易に製造することが可能となる。尚、上記「略接触する」とは、接触しているか又はその直前の状態を指す。

【0010】更に、前記接合ツールが薄板側に傾斜した状態において、前記境界面における上記ツールの攪拌ピンの先端と両板の裏面との間に隙間が位置するように、前記攪拌ピンを両板の境界面付近に押し込む、接合方法

も含まれる。これによれば、厚板と薄板との境界面の全体に攪拌ピンによる金属の攪拌及び塑性流動が行われるため、未接合部分が形成されにくく、厚さ方向の全体に健全な接合を形成できる。従って、上記接合部を有し且つ強度も安定したテーラードブランク板材を、一層容易に製造することが可能となる。尚、上記隙間は、攪拌ピンが1段の場合には $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ の範囲が推奨される。 $0.2 \text{ mm}$ を越えると未接合部分が形成され易くなり接合強度がバラツキ始める一方、 $0.1 \text{ mm}$ 未満になると攪拌ピンの先端が薄板の裏面側に突き抜けるおそれがあるためである。また、後述する攪拌ピンが2段以上で且つ先端側で細径の攪拌ピンの断面が多角形等の場合には、上記と同様の理由により、隙間は $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ の範囲が推奨される。

【0011】また、前記接合ツールが薄板側に傾斜した状態で、その攪拌ピンを厚板と薄板との境界面付近に押し込むに際して、上記ツールの本体の底面が薄板の内部に食い込まないようにする、接合方法も含まれる。これによれば、接合後において薄板の表面側のバリを除去しても、当該薄板の板厚が減少しないので、接合部付近の継ぎ手強度を安定させることができる。尚、第一、第二の接合方法には、次述する2段以上の攪拌ピンを有する接合ツールが特に推奨されるが、各接合方法の趣旨に適合していれば、攪拌ピンを1段のみ設けた接合ツールであっても、各接合方法に適用することが可能である。

【0012】更に、本発明には、以上の接合方法の何れかにより得られ且つ前記境界面付近において未接合部がない、テーラードブランク板材も含まれる。上記ブランク板材は、種々の金属からなる厚板と薄板とが境界面に沿って健全な接合部により強固に摩擦攪拌接合されている。従って、各種の用途に容易に活用することができ、特に鉄道車両や自動車その他の構造材に対し有効である。

【0013】一方、以上の接合方法に用いる本発明の接合ツールは、同一平面上に位置する金属製の厚板と薄板とを突き合わせ、両板の境界面に沿って摩擦攪拌接合する接合ツールであって、上記薄板側に傾斜した姿勢で回転しつつ移動する略円柱形の本体と、この本体の底面から同心にして垂下し且つ先端側に行くほど細径になる2段以上の攪拌ピンと、を含む、ことを特徴とする。これによれば、厚板及び薄板の境界面付近において、薄板側に傾斜した姿勢で上記攪拌ピンの先端を両板の裏面付近まで進入させても、薄板の裏面側に突き抜けにくくなり、当該攪拌ピンにより塑性流動化された金属を厚板側から薄板側にスムーズに移行しつつ攪拌することができる。従って、両板の境界面における厚さ方向の略全体に前述した健全な接合部を確実に形成できるため、例えば板厚差が大きい厚板と薄板との接合においても、高強度の接合部を有するテーラードブランク板材を、容易且つ安定して製造することができる。尚、上記複数段の攪拌

ピンには、次述する形態の他、互いに同心の円柱形からなるものが含まれる。

【0014】また、前記攪拌ピンのうち２段目以降のピンの断面形状が四角形以上の正多角形又は変形多角形、或いは異形状である、接合ツールも含まれる。これによれば、２段目以降の先端寄りの上記攪拌ピンの表面積を円柱形の形態に比べて増やせ、且つ厚さ方向の塑性流動域を約 2.5 倍程度まで拡大することができる。このため、係る先端寄りの攪拌ピンと接触し且つ攪拌される金属も増えるので、両板の境界面における厚さ方向と共に両板の平面方向にも拡大した健全な接合部を形成することができる。従って、一層接合強度の高い接合部を有するテーラードブランク板材を、容易且つ確実に製造することができる。尚、上記異形状には、断面円形又は多角形の周面に軸心方向に沿った凹溝や凸条を設けた形状等が含まれる。また、最先端のピンの底面には、底面視でその中心から放射形状、又は周辺から中心に向かう渦巻き形の浅い細溝を付設することにより、ピン先端部に位置する金属の攪拌を一層促進することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下において、本発明の実施に好適な形態を図面と共に説明する。図 1, 2 は、本発明の第一の接合方法とこれに用いる接合ツール 10 に関する。図 1 (A) 及び (B) に示すように、アルミニウム合金 (JIS: A5052 等) からなる厚板 1 と薄板 2 とを同一平面 (定盤) 上で突き合わせ、厚・薄板 1, 2 間を上側に段部 5 を有する境界面 4 とした状態で、図示しない治具により厚・薄板 1, 2 を定盤の表面上で拘束する。係る状態で、図 1 (A) ~ (C) のように、境界面 4 付近に回転する接合ツール 10 を配置する。この接合ツール 10 は、工具鋼 (例えば JIS: SKD61) からなり、図 1 (C) 及び図 2 (A), (B) に示すように、太い円柱形の本体 11、その底面 11a から本体 11 と同心に垂下する基側の攪拌ピン 12、及び該ピン 12 の底面 13 から同様に垂下する細径の先端側の攪拌ピン 14 を含む。攪拌ピン 14 は、図 2 (a) に示すように、正六角形の断面を有する六角柱である。

【0016】接合ツール 10 の攪拌ピンを上記の 2 段の攪拌ピン 12, 14 としたのは、次の理由による。攪拌ピンは接合中に大きな反力を受けるので、これに耐えるため特に攪拌ピンの付け根部分を太径にする必要がある。しかし、太径の攪拌ピンを有する接合ツールを用い且つ薄板側に傾斜させて、厚板と薄板とを摩擦攪拌接合する場合、攪拌ピンの先端が厚・薄板の裏面に突き抜けないよう当該ピンの位置を調整すると、境界面における攪拌ピンの先端と厚・薄板の裏面との隙間が大きくなり、未接合部を生じるおそれがある。これを防ぐため、強度が必要な付け根部の攪拌ピン 12 を太径とし、先端側の攪拌ピン 14 を細径とする 2 段構造の接合ツール 10 を用いることにより、上記隙間を小さくし未接合部を

生じにくくして、健全な接合部を境界面 4 の略全体に形成できるようにしたものである。

【0017】図 1 (A), (B) に示すように、回転する接合ツール 10 は、厚・薄板 1, 2 間の境界面 4 付近に押し込まれ、且つ境界面 4 に沿って移動される。該ツール 10 の回転速度は 500 ~ 15000 rpm、送り (移動) 速度は 0.05 ~ 2 メートル/分、軸心方向に加えられる押し込み力は 1 ~ 30 kN の範囲である。この際、接合ツール 10 は、移動方向と反対側に数° 傾斜すると共に、図 1 (C) に示すように、境界面 4 と直交し且つ薄板 2 側にも数° 傾斜する姿勢で保持される。そして、図 1 (A) に示すように、接合ツール 10 は、平面視で時計回り方向に回転しつつ厚・薄板 1, 2 間の境界面 4 に沿って図示で上側に移動すると共に、平面視において厚板 1 をその移動方向における右側に配置した状態で、厚・薄板 1, 2 を境界面 4 に沿って摩擦攪拌接合する第一の接合方法を行う。

【0018】すると、図 2 (C) に示すように、接合ツール 10 の攪拌ピン 12, 14 が回転しつつ境界面 4 付近に押し込まれ、本体 11 の底面 11a の両端部 11b, 11c は厚・薄板 1, 2 の表面 1a, 2a に略接触する。これにより、境界面 4 付近の厚・薄板 1, 2 を形成しているアルミニウムは、2 段の攪拌ピン 12, 14 の回転により、摩擦熱を生じて加熱され可塑性化される。同時に、厚・薄板 1, 2 の表面 1a, 2a が本体 11 の底面 11a に抑えられているため、厚板 1 のアルミニウムは、図 2 (C) で左側の薄板 2 内の位置に塑性流動する。また、薄板 2 のアルミニウムは流動化され一時的に厚板 1 側にも流動するが、本体 11 の底面 11a の抑え作用により、薄板 2 側の位置に集流する。以上の結果、攪拌ピン 12, 14 が通過した跡には攪拌されたアルミニウムが境界面 4 付近で緻密に固まった高強度の接合部 6 が形成される。また、厚・薄板 1, 2 の表面 1a, 2a 上に、上記攪拌されたアルミニウムが飛散しにくいので、表面 1a, 2a を汚す事態をなくすか低減することができる。

【0019】従って、第一の接合方法によれば、エア等の巻き込みやボイドのトンネル欠陥等のない緻密な接合部 6 を厚板部 1 と薄板部 2 との間に有し、且つ所要の接合強度を有するテーラードブランク板材 8 を、容易且つ容易に得ることができる。尚、第一の接合方法には、前述した条件による限り、後述する攪拌ピン 12 のみを 1 段有する接合ツール 10a を用いることも可能である。また、接合ツール 10 によれば、図 2 (C) に示すように、攪拌ピン 14 の先端を厚・薄板 1, 2 の裏面 1b, 2b 付近まで進入させることなく、且つ薄板 2 の裏面 2b 側に突き抜けずに、攪拌ピン 12, 14 により塑性流動化されたアルミニウムを厚板 1 側から薄板 2 側にスムーズに移行しつつ攪拌することができる。従って、第一の接合方法によれば、厚・薄板 1, 2 の境界面 4 付近に

おける厚さ方向の略全体及び幅方向に、健全な接合部6を確実に形成することができる。

【0020】次に、本発明の第二の接合方法を図3、4により説明する。尚、第二の接合方法は、前記第一の接合方法を前提として行われるものである。図3(A)に示す前記同様の接合ツール10を用い、図3(B)に示すように、前記同様に配置された厚・薄板1、2の境界面4に沿って、前記同様に傾斜した接合ツール10を回転させ且つ移動させつつ、攪拌ピン12、14を押し込む。この際、接合ツール10の本体11の底面11aは、図3(B)に示すように、上記ツール10の移動方向における側面視で左右の端部11b、11cが厚・薄板1、2の表面1a、2aに略接触すると共に、上記端部11cが薄板2の内部に食い込まない範囲で、攪拌ピン12、14を境界面4付近に押し込む。併せて、境界面4における攪拌ピン14の先端(底面16)と厚・薄板1、2の裏面1b、2bとの間には、図3(B)に示すように、0.1~0.5mmの隙間sを設定する。この状態で、接合ツール10を境界面4に沿って移動し、厚・薄板1、2を摩擦攪拌接合する第二の接合方法を行う。

【0021】これにより、攪拌ピン12、14により塑性流動化されたアルミニウムは、厚板1側から薄板2側にスムーズに移行しつつ攪拌され、上記ピン12、14が通過した跡には攪拌されたアルミニウムが緻密に固まった接合部6が形成される。また、隙間sを上記範囲内に設定することにより、攪拌ピン12、14が適切な深さに保たれ、境界面4の厚さ方向の全体に及び幅方向にも一定の広がりを持つ前記接合部6を確実に形成できる。しかも、薄板2の表面2aが本体11の底面11aにより凹まず、接合部6の表面における境界面4の長手方向に沿った一対のバリも容易に除去でき、且つ薄板2の板厚も減少せず、その付近の強度が接合後も殆ど低下しない。更に、作業者が目視又はカメラ等でツール10を容易に設定及び監視できるため、均一で安定した接合作業を行うこともできる。従って、上記の第二の接合方法によれば、エアを巻き込むトンネル欠陥等のない緻密な接合部6を厚板部1と薄板部2との間に有し、且つ所要の接合強度を有するテラードブランク板材8を、確実に且つ容易に得ることが可能となる。

【0022】また、図4(A)に示す1段の攪拌ピン12のみを有する接合ツール10aを用い、図4(B)に示すように、厚・薄板1、2の境界面4に沿って、前記同様に傾斜した接合ツール10aを回転させ且つ移動させて押し込む。この際、図4(B)に示すように、接合ツール

10aの移動方向における側面視で、当該ツール10aの本体11の底面11aにおける両端部11b、11cは厚・薄板1、2の表面1a、2aに略接触すると共に、上記端部11cが薄板2の内部には食い込まない範囲で、攪拌ピン12を押し込む。また、境界面4における攪拌ピン12の先端(底面13)と薄板2の裏面2bとの間に0.1~0.2mmの隙間sが位置するように、攪拌ピン12が境界面4付近に押し込まれる。係る状態で、接合ツール10aを境界面4に沿って移動し、厚・薄板1、2を摩擦攪拌接合する第二の接合方法を行う。これによっても、境界面4付近の厚さ方向の全体及び幅方向にもある程度広がった前記接合部6を有し、その表面に形成されるバリ取りも容易にでき、且つ薄板部2の強度が接合後も殆ど低下していないテラードブランク板材8を、容易且つ確実に得ることが可能となる。

#### 【0023】

【実施例】以下において、本発明による第二の接合方法の具体的な実施例を、比較例と共に説明する。前記図3(B)及び図4(B)に示したように、JIS:A5052のアルミニウム合金からなる厚さ1.6mmの厚板1と、同じアルミニウム合金からなる厚さ1.0mmの薄板2を複数組用意した。また、同じJIS:SKD61の工具鋼からなり、前記図4(A)に示した本体11の直径d1が全て9mmの四つの接合ツール10aと、本体11の直径d1が9mmと10.5mmで且つ2段の攪拌ピンがそれぞれ円柱形の二つの接合ツール(10)とを用意した。この他に、前記図3(A)に示した攪拌ピン12、14を有し且つその本体11の直径d1が9mmの接合ツール10を一つ用意した。

【0024】更に、接合ツール10a、(10)、10の移動方向の傾斜角は共通とし、表1に示すように、板厚t1、t2の厚・薄板1、2、これらの境界面4と直交する方向の傾斜角 $\theta$ 、攪拌ピン12、14の直径(d2、d3)と長さ、及び、境界面4における接合ツール10a、(10)、10の先端と薄板2の裏面2bとの隙間sを、それぞれ設定した。表1に示すように、四つの接合ツール10aを実施例1~3及び比較例1とし、二つの接合ツール(10)のうち本体11の直径d1が9mmのものを実施例4、直径d1が10.5mmのものを実施例5とした。また、前記攪拌ピン12、14を有する接合ツール10を実施例6とした。

#### 【0025】

#### 【表1】

	板厚 (mm)		板厚差 (mm)	傾斜角 $\theta$	ピン径 (mm)		ピン長さ (mm)	隙間 s (mm)	欠陥の 有無
	厚板 t1	薄板 t2							
実施例 1	1.6	1.0	0.6	3.8°	d2	3.0	1.0	0.15	無
" 2	"	"	"	2.5°	"	"	1.1	0.13	無
" 3	"	"	"	3.8°	"	"	0.85	0.3	無
比較例 1	"	"	"	7.6°	"	"	1.2	0.3	有
実施例 4	"	"	"	3.8°	d2	3.0	0.53	0.12	無
					d3	2.0	0.5		
" 5	"	"	"	2.5°	d2	3.0	0.6	0.10	無
					d3	2.0	0.53		
" 6	"	"	"	3.8°	d2	3.0	0.35	0.5	無
					d3	2.0	0.3		

(注)・実施例 4, 5 のピン径の下段は先端側の円柱ピンの外径 d3  
 ・ " " のピン長さの下段は先端側の円柱ピンの長さ  
 ・ " 6 のピン径の下段は先端側の六角ピンの外径 d3  
 ・ " 6 のピン長さの下段は六角ピンの長さ

【0026】尚、表 1 の条件により比較例 1 では、接合  
 ツール 10 a の本体 11 の底面 11 a は、厚板 1 の表面  
 1 a に接触せず、且つ薄板 2 の表面 2 a のみに接触して  
 いる。また、実施例 3 では、接合ツール 10 a の本体 1  
 1 の底面 11 a の両端は厚・薄板 1, 2 の表面 1 a, 2 a  
 に略接触するが、攪拌ピン 12 の先端と厚・薄板 1, 2 の  
 裏面 1 b, 2 b との隙間 s は 0.3 mm とした。更に、  
 実施例 6 では、接合ツール 10 の先端と裏面 1 b, 2 b  
 との隙間 s は 0.5 mm とした。尚、各例の接合ツール  
 10 a, (10), 10 の回転速度は 7000 rpm、送り  
 (移動)速度は 0.5 m/分、軸心方向に加えられる押し  
 込み力は 2.5 kN に全て共通とした。

【0027】係る条件下で、各例の接合ツール 10 a,  
 (10), 10 を用いて、厚・薄板 1, 2 の境界面 4 に沿  
 って、それぞれ長さ 50 cm に渉り摩擦攪拌接合を行っ  
 た。各例により得られたテーラードブランク板材 8 を、  
 それぞれ同じ数字の実施例又は比較例とした。更に、各  
 例に付き境界面 4 であった位置で破壊し、各例の接合部  
 6 におけるトンネル欠陥等の有無を、X線透過試験によ  
 り観察した。そして、1カ所でも欠陥があったか否かの  
 結果を、前記表 1 中に示した。表 1 に示すように、実施  
 例 1~6 で得られたテーラードブランク板材 8 には、接  
 合部 6 に欠陥がなかった。特に、実施例 6 の板材 8 で  
 は、0.5 mm の隙間 s を設けたにも拘わらず、境界面  
 4 全体に健全な接合部が形成され、前記接合ツール 10  
 における断面六角形の攪拌ピン 14 の効果が現れた。但  
 し、実施例 3 では、接合ツール 10 a を用いる際の隙間  
 s が大きめであったため、厚・薄板 1, 2 の裏面 1 b,  
 2 b 寄りに未接合部が僅かに残っていた。

【0028】一方、比較例 1 で得られたテーラードブ  
 ランク板材には、その接合部 6 にトンネル欠陥が発見され

た。また、その接合ツール 10 a の傾斜角  $\theta$  を 7.6°  
 と大きくしたため、本体 11 の底面 11 a が厚板 1 の表  
 面 1 a から離れ、且つ薄板 2 の内部に僅かに食い込んで  
 いた。この結果、その接合部 6 表面の境界面 4 の方向に  
 沿った一對のバリを除去する際、薄板部 2 上のバリ取り  
 がしにくく、且つ薄板 2 の板厚が当初よりも減少したた  
 め、接合部 6 付近の継手強度も低下していた。以上の結  
 果から、本発明の第二の接合方法による作用が理解さ  
 れ、且つその効果が裏付けられたことも容易に理解され  
 る。また、前記従来の技術の項で述べたように、接合ツ  
 ール 10 等の傾斜角  $\theta$  は、単に 10° 以下にすれば良い  
 のではなく、上記各実施例のように、厚・薄板 1, 2 の  
 板厚差や隙間 s 等を考慮して定めることが重要であるこ  
 とも容易に理解されよう。

【0029】図 5 (A), (B) は、異なる形態の接合ツ  
 ール 20 の側面と底面を示す。図示のように、接合ツール  
 20 は、円柱形の本体 22 と、その底面から同心に垂下  
 する円柱形で基側の攪拌ピン 24 と、その底面から同様  
 に垂下する細径で断面が異形状を有する先端側の攪拌  
 ピン 26 とを含む。図 5 (A), (B) に示すように、先端  
 側の攪拌ピン 26 は、その周面に軸心方向に沿った四つ  
 の凹溝 28 が対称に形成されている。係る 2 段の攪拌ピ  
 ン 24, 26 を有する接合ツール 20 によれば、各凹溝  
 28 により攪拌ピン 26 の表面積が広がるため、前記接  
 合ツール 10 と同様に、前記厚板 1 と薄板 2 との境界面  
 4 付近の厚さ方向全体及び一定の幅方向に健全な前記接  
 合部 6 を有する摩擦攪拌接合を容易に行うことが可能と  
 なる。尚、攪拌ピン 26 は、その周面に軸心方向に沿っ  
 た複数の対称な凸条を突設した形態とすることもでき  
 る。該凸条には断面矩形、三角形、半円弧形状等が含まれ

【0030】また、図5(C)に底面を示す接合ツール30は、円柱形の本体32と、その底面から同心に垂下する円柱形で基側の攪拌ピン34と、その底面から同様に垂下する細径で断面が正五角形の先端側の攪拌ピン36を含んでいる。更に、図5(D)は上記接合ツール30の変形形態である接合ツール30aの底面を示す。図示のように、接合ツール30aも、円柱形の本体32と、円柱形で基側の攪拌ピン34とを有し、且つ攪拌ピン34の底面から同心に垂下する細径で断面が正八角形の先端側の攪拌ピン38を含んでいる。以上の接合ツール30、30aによっても、前記接合ツール10、20と同様に、前記境界面4付近における厚さ方向全体及びある程度幅方向に健全な前記接合部6を有する摩擦攪拌接合を容易に行うことが可能である。尚、攪拌ピン36、38の断面形状は、それぞれに倣った変形多角形としても良い。

【0031】図5(E)～(G)は、前記接合ツール10等における攪拌ピンの底面を示す。図5(E)は、前記接合ツール10における先端側の攪拌ピン14の底面16を示し、係る底面16において各辺18の中間から中心部42に向けてカーブした六本の凹溝40を互いに対称に形成している。これにより、前記厚・薄板1、2の境界面4付近で、金属を一層広範に塑性流動化し且つ攪拌することができる。また、図5(F)は、前記接合ツール30aにおける先端側の攪拌ピン38の底面39を示し、係る底面39において各辺の中央から中心部46に向けて八本の凹溝44を放射状に形成している。これによっても、前記厚・薄板1、2の境界面4付近で、金属を一層広範に塑性流動化させ且つ攪拌することができる。

【0032】更に、図5(G)は、断面円形の攪拌ピン47の底面49を示し、その周縁から中心付近に向けて渦巻き状の凹溝48を形成している。この凹溝48は、前記第一の接合方法に適用し易くするため、その渦巻きの向きは平面視で時計回りに形成される。これによっても、前記厚・薄板1、2の境界面4付近で、金属を一層広範に塑性流動化し且つ攪拌することができる。尚、一対の上記凹溝48を形成し、これらを互いに対称で入れ子状にして底面49に形成しても良い。また、攪拌ピン47は、2段の攪拌ピンを有する前記接合ツール10の先端側の他、1段の攪拌ピンを有する前記接合ツール10aにも共通して適用することができる。

【0033】本発明は、以上において説明した各形態に限定されるものではない。例えば、接合すべき厚板と薄板には、前記アルミニウム合金に限らず、各種の鋼板、ステンレス鋼板、チタン合金板、及びマグネシウム合金板も含まれ、且つこれらの間における異種金属同士からなる組み合わせも含まれ得る。また、接合すべき厚板と薄板は、互いに一定の板厚のものに限らず、一方又は双方の板厚が途中で変化する段差を有する金属板、或いは板厚が徐々に変化するテーパ面を有する金属板にも、本

発明の接合方法及びツールは適用し得る。この場合、接合ツールの前記傾斜角 $\theta$ を途中で変更するように制御するものとする。

【0034】更に、接合ツールには、3段以上の攪拌ピンを同心にして設けても良い。或いは、複数段の攪拌ピンを有する接合ツールにおいて、断面が前記多角形等の非円形の攪拌ピンを1段目(基側)にも用いても良く。付言すれば、1段のみの攪拌ピンを有する接合ツールの上記攪拌ピンに上記非円形断面を適用しても良い。また、接合すべき厚板と薄板との境界面は、前記各形態のような直線状の形態に限らず、途中で異なる方向に方向転換する境界面や、一定の曲率に沿ったカーブする境界面も含まれ、接合ツールもこれらに倣って移動するよう制御される。

#### 【0035】

【発明の効果】以上において説明した第一の接合方法によれば、厚板及び薄板の境界面付近において、攪拌ピンにより塑性流動化された金属が厚板側から薄板側に移行しつつ攪拌され、上記ピンが通過した跡には攪拌された金属が境界面付近で緻密に固まった高強度の接合部が形成される。従って、エアを巻き込んだトンネル欠陥等のない緻密な接合部を厚板部と薄板部の間に有し、且つ所要の接合強度を有するテーラードブランク板材を、确实且つ容易に製造することが可能となる。また、本発明の第二の接合方法によれば、両板間の境界面付近において、攪拌ピンにより塑性流動化された金属が厚板側から薄板側にスムーズに移行しつつ攪拌され、上記ピンが通過した跡には攪拌された金属が緻密に固まった高強度の接合部が形成される。しかも、例えば作業者が目視又はカメラ等で容易に接合ツール設定及び監視できるため、均一で安定した接合作業を行うこともできる。従って、前記欠陥のない緻密な接合部を有し、且つ所要の接合強度を有するテーラードブランク板材を、确实且つ一層容易に製造することが可能となる。

【0036】更に、以上の接合方法により得られたテーラードブランク板材は、厚板と薄板とが境界面に沿って未接合部がなく健全な接合部により強固に接合されており、例えば鉄道車両や自動車等の各種の用途に活用することが可能である。また、本発明の接合ツールによれば、厚板及び薄板の境界面付近において、攪拌ピンの先端が両板の裏面付近まで進入し、且つ薄板の裏面側に突き抜けずに、当該攪拌ピンにより塑性流動化された金属を厚板側から薄板側にスムーズに移行しつつ攪拌することができる。従って、境界面における厚さ方向の略全体に健全な接合部を确实に形成できるため、例えば板厚差が大きい厚板と薄板との接合においても、未接合部がなく高い強度の接合部を有するテーラードブランク板材を、容易且つ安定して製造することができる。加えて、請求項7の接合ツールによれば、2段目以降の先端寄りの上記攪拌ピンの表面積を円柱形の形態に比べて増



やせ、且つ厚さ方向と幅方向の塑性流動域を拡大することができる。従って、係る先端寄りのピンと接触し且つ攪拌される金属も増大するので、両板の境界面における厚さ方向と共に両板の平面方向にも拡大した健全な接合部を形成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】(A)は本発明の第一の接合方法を示す平面図、(B)は(A)にて矢印B方向から見た側面図、(C)は(A)中のC-C線に沿った断面図。

【図 2】(A)は図 1 で用いた接合ツールの側面図、(a)は(A)中の a-a 線に沿った断面図、(C)は上記接合ツールの斜視図、(D)は上記接合ツールを用いた第一の接合方法を示す断面図。

【図 3】(A)は図 1 で用いた接合ツールの側面図、(B)はこれを用いた第二の状接合方法を示す概略図。

【図 4】(A)は別の接合ツールの側面図、(B)はこれを用いた第二の状接合方法を示す概略図。

【図 5】(A)、(B)は異なる形態の接合ツールの側面図又は底面図、(C)、(D)は更に異なる形態の接合ツールを示す底面図、(E)乃至(G)は前記接合ツール等の攪拌

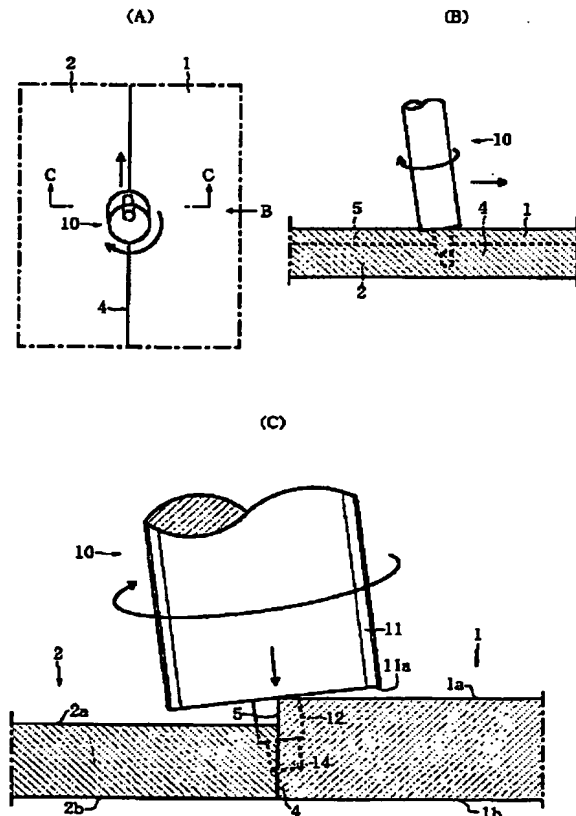
ピンの底面図。

【図 6】(A)は従来の接合方法を示す平面図、(B)は(A)にて矢印B方向から見た側面図、(C)は(A)中のC-C線に沿った断面図。

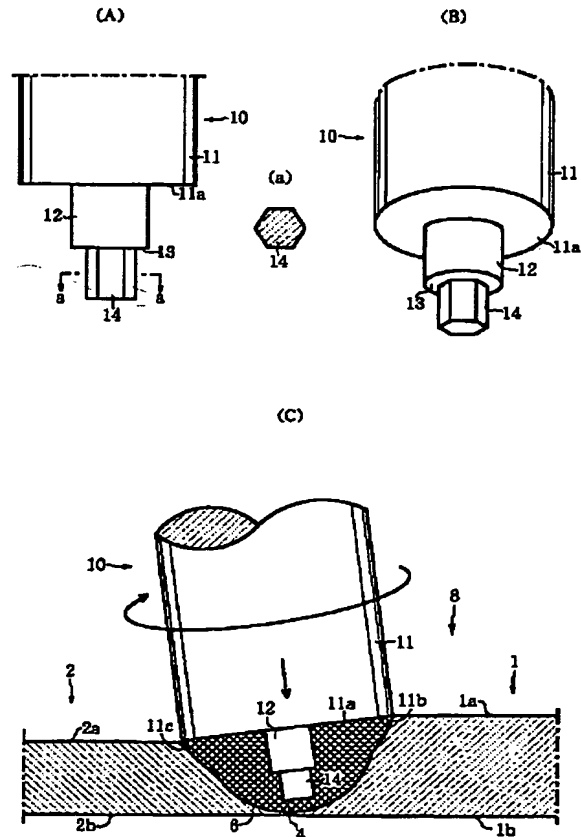
#### 【符号の説明】

1	.....	厚板
1 a, 2 a	.....	表面
1 b, 2 b	.....	裏面
2	.....	薄板
4	.....	境界面
8	.....	テーラード
10	.....	ブランク板材
10, 10 a, 20, 30, 30 a	.....	接合ツール
11, 22, 32	.....	本体
11 a	.....	底面
11 b, 11 c	.....	端部
12, 14, 24, 26, 34, 36, 38, 47	.....	攪拌ピン
s	.....	隙間

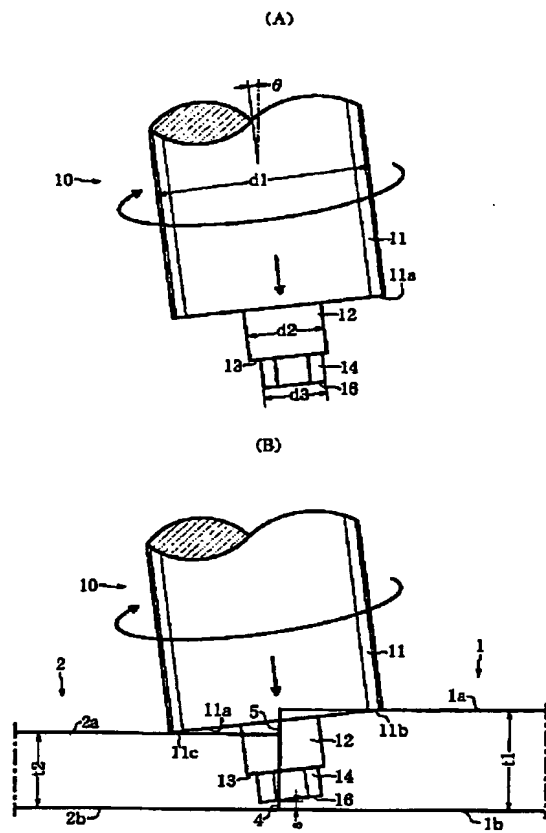
【図 1】



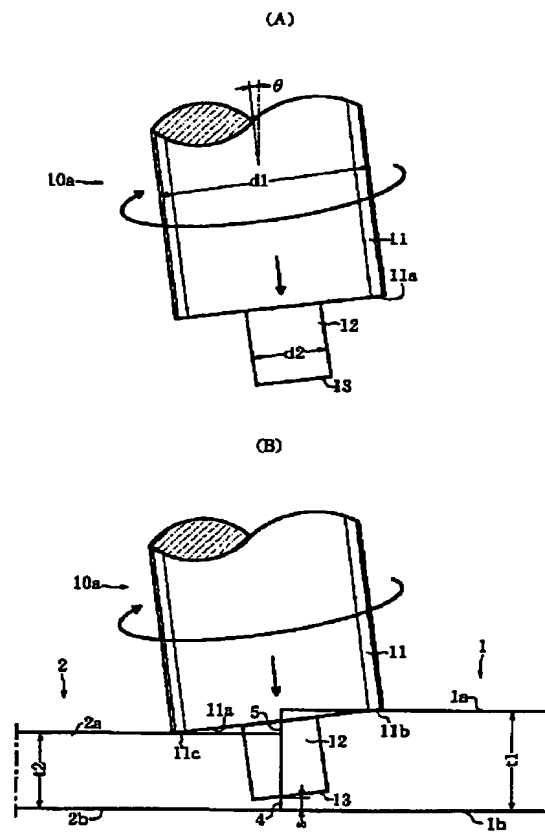
【図 2】



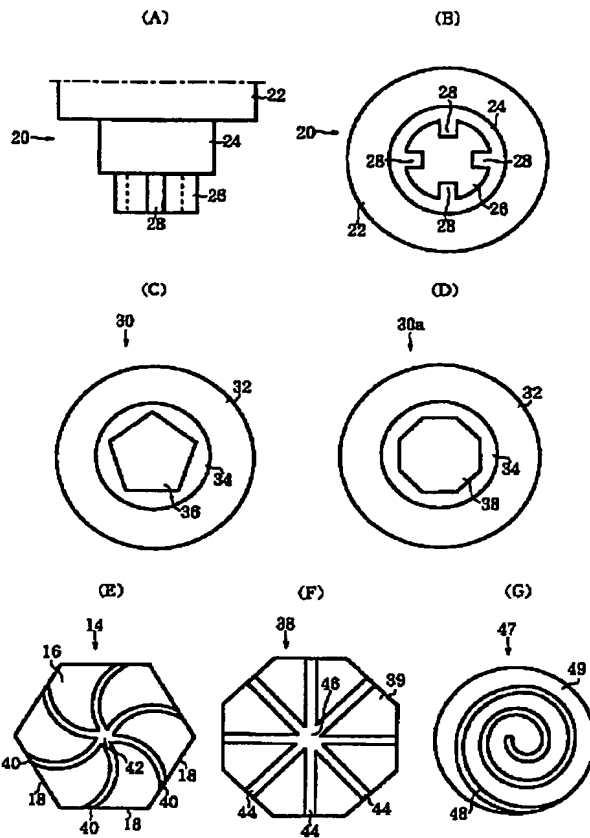
【図3】



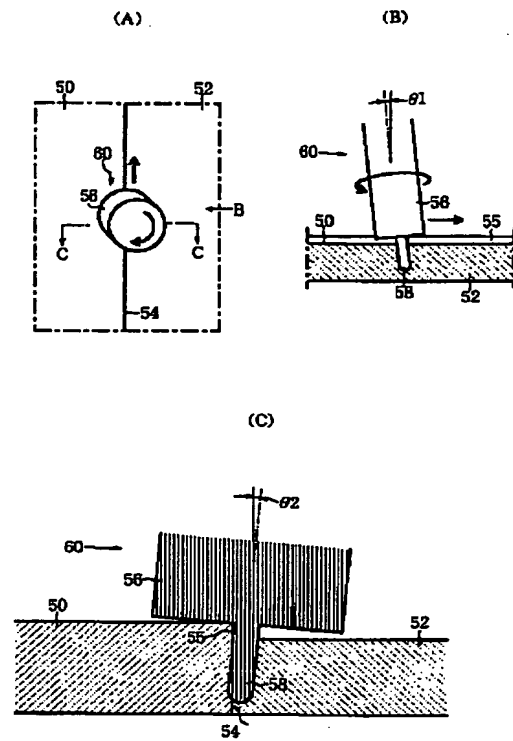
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 樋野 治道  
 静岡県庵原郡蒲原町蒲原一丁目34番1号  
 日本軽金属株式会社グループ技術センター  
 内

Fターム(参考) 4E067 AA05 BG00 DA17 DC07